

**ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНООБРАБОТКИ****Тернюк Н.Э., Луцкий С.В. (ГП ИММС, ХНАДУ, Харьков, Украина)**

*The methodology of the system-information approach to the integrated technologies of the mechanical engineering on base it is information-sense models at stages of life cycle of production.*

**Введение.** Эффективное преобразование энергии, вещества и информации в процессах производства продукции, лежит в основе развития технологий и технологических систем. Каждый вид ресурса, прежде чем он может быть использован в конкретном технологическом процессе, проходит ряд этапов преобразования, определяемых его производственным циклом. Объединение этапов преобразования ресурсов необходимых для производства продукции от происхождения до поставки готовых изделий потребителю и их следующей утилизации в единую производственную систему на базе управляющей ЭВМ, представляет собой полную интеграцию производства на этапах жизненного цикла продукции (ЖЦП). Интегрированные технологии механообработки представляют собой совокупность методов и средств, обеспечивающих интеграцию производственных процессов механообработки на этапах ЖЦП.

Проектирование машин и технология их изготовления идут параллельно и являются общими закономерностями развития и накопления знаний. Научные знания или научные обобщения необходимы для ускоренного развития технологий и науки о производстве машин. Возможность формализации технологических знаний определяется средствами, методами, инструментальным аппаратом формализации этих знаний. До настоящего времени основным аппаратом формализации являлись традиционные математические модели, однако они позволили формализовать только небольшую часть технологических знаний, главным образом связанных с рабочими технологическими процессами. На основании математических моделей появились такие направления в технологии машиностроения как теория резания, теория пластического деформирования, теория точности, теория производительности, надежности и т.д., которые составляют основу теоретических положений машиностроения. Большая часть технологических знаний, в настоящее время, остается неформализованной. Это определяется несовершенством аппарата, который не предназначен для описания и учета всех особенностей технологических процессов. Существующий аппарат формирования научных знаний, который хорошо работает в таких фундаментальных дисциплинах как физика, химия, технические дисциплины, для технологии машиностроения являются несовершенным.

Интенсивное развитие научных основ технологии машиностроения, переход к модельному представлению отдельных технологических процессов как информационных процессов, позволит значительно ускорить развитие производственных технологий за счет проведения с новых позиций более глубоких исследовательских работ, более полного прогнозирования получаемых результатов. Исследование информационных процессов в интегрированных производствах машиностроения имеет особое значение, так как информация является единственной субстанцией, в отличие от вещества и энергии, которая объединяет все этапы ЖЦП. Поэтому научное исследование интегрированных технологий машиностроения с позиции информационных процессов, требует выработки новых знаний о совокупности

методов и средств, отображающих преобразования и связи производства машин посредством энергии вещества и информации, создаваемых для осуществления процессов производства и воспроизводства является актуальным.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Широкое применение методов математического моделирования связано с использованием различных подходов к составлению математических моделей технологических процессов и систем. Среди этих подходов перспективными являются системно-информационный, кинетический, стохастически-вероятностный, термодинамический, физико-математический, а также подходы с использованием принципов аналогий (аналогизационный), диакоптики, токологии, пиктографии, языков моделирования, дисперсионного, регрессивного и корреляционного анализа.

Сформулируем основные концептуальные положения системно-информационного подхода к технологии машиностроения [2].

Количество информации значения физической величины в стохастической системе может служить математическое ожидание дискретной случайной величины  $I = M = \sum x_i p_i$ , тогда количество информации можно определить  $I_{\text{кол}} = \log_2 \frac{M}{\sigma} = \log_2 \frac{\sum x_i p_i}{\sqrt{D}}$ , где  $D$  – дисперсия,  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение случайной физической величины. Если информация передается без потерь от  $y_i$  физической величины к  $x_i$  физической величине, характеризующих свойства взаимодействующих стохастических систем, тогда

$$\sum I_{y_{\text{кол}}} = \sum I_{x_{\text{кол}}} \text{ или } \log_2 \frac{\sum y_i p_i}{\sqrt{D_i}} = \log_2 \frac{\sum x_j p_j}{\sqrt{D_j}}.$$

Информационный процесс протекает при устойчивой корреляционной связи между входом и выходом системы. Системно-информационный подход позволяет рассчитать качество и ценность информации свойств объектов.

*Качество информации* объекта определяется как всеобщая характеристика, обнаруживаемая в относительном отклонении от совокупности целевых свойств объекта от реальных значений  $I_{\text{ф.в.}}^{(gl)} = \left| \frac{I_{\text{ном.}} - I_{\text{действ.}}}{I_{\text{ном.}}} \right|^{-1} = \left| 1 - \frac{I_{\text{действ.}}}{I_{\text{ном.}}} \right|^{-1}$ .

*Ценность информации* определяется как объективная положительная или отрицательная значимость влияния существенных свойств и их значений на степень формирования целевых свойств объекта  $I_{\text{ф.в.}}^{(ve)} = \left| I_{\text{ном.}} - \frac{I_{\text{ном.}} - I_{\text{действ.}}}{I_{\text{ном.}}} \right|$ .

Изменение состояния системы формируется посредством информационной связи между взаимодействующими системами. Особенностью модели пространства свойств заключается в структуризации параметров свойств систем во времени и пространстве, т.е. в структуризации проявления чувствительности свойств в пространстве и во времени [3].

1. Количество информации, которое несет качественное значение конечного множества свойств потенциально воспринимаемых системой.

$$I_E = \sum_{n=1}^d \log_2(d-n); \quad E = \{e_n\}, \quad n = 1 \dots d;$$

2. Количество информации, которое физически (технически) несут параметры свойств системы  $I_X = \sum_{k=1}^g \log_2(g - k); g = \frac{\Lambda(e) - \lambda(e)}{\lambda(e)}; k = 1 \dots g;$

3. Количество информации, которое несет в себе длительность, в течение которого проявляется свойства систем  $I_T = \sum_{g=1}^e \log_2(e - g); e = \frac{\Gamma(T) - \lambda(T)}{\gamma(T)}; g = 1 \dots e;$

4. Количество информации, которое несет в себе протяженность, в пространстве которого проявляются свойства системы

$$I_R = \sum_{b=1}^A \log(t - b); f = \frac{\Gamma(R^n) - \gamma(R^n)}{\gamma(R^n)}; b = 1 \dots f.$$

Системно-информационное уравнение представляет собой комплексную информационно-смысловую модель  $S_I = f(I_E, I_X, I_T, I_R)$ : где  $I_E$  – количество информации, которым обладает множество  $E$  свойств систем,  $I_X$  – количество информации, которым обладает интенсивность  $E$  свойств систем,  $I_T$  – количество информации, которым обладает длительность свойств,  $I_R$  – количество информации, которым обладает протяженность свойств. Текущие во времени состояние системы равно  $S_I(t) = f(I_E(t_i), I_X(t_i), I_T(t_i), I_{R^n}(t_i))$ .

**Цель и постановка задачи.** Разработка интегрированных технологий механообработки на основе системно-информационного подхода..

**Информационно-смысловые модели интегрированных технологий механообработки.**

При разработке информационно-смысловых моделей преобразования вещества, энергии и информации на этапах ЖЦП, принципиальным вопросом является определение отношения меры количества информации по Шеннону-Больцману (теория информации связи) и системно-информационного подхода к технологическим процессам и системам[1].

При известном законе распределения вероятности (для механообработки наиболее часто используется закон нормального распределения) количество информации по системно-информационному подходу равно

$$J_{\text{сип}} = \ln \frac{X_{cp}}{\Delta x}, \text{ при } \Delta x = \sigma = 1, \quad J_{\text{сип}} = \ln X_c = \ln \frac{\sum_{i=1}^k X_i m_i}{n} = \ln \sum_{i=1}^k X_i p_i, \text{ где } \frac{m_i}{n} = p_i,$$

$$J_{sh} = -p \ln p, \text{ тогда } J_{\text{сип}} = \ln \sum_{i=1}^k X_i \cdot e^{-\frac{J_{sh}}{p_i}} = \ln \sum_{i=1}^k X_i + \ln e^{-\frac{J_{sh}}{p_i}}, \quad J_{\text{сип}} = \ln \sum_{i=1}^k X_i - \frac{J_{sh}}{p_i}$$

Таким образом, количество информации действительного размера по системно-информационному подходу равно количеству информации усредненного размера минус количество информации по Шеннону-Больцману. Из проведенного анализа вытекает, что

информация Шеннону-Больцману есть информация ошибки размера (рис.1).

Интеграция технологий механообработки на основе методов системно-информационного подхода на этапах ЖЦП состоит из этапов.

1. На этапе конструирования: определяется количество информации размеров изделия, информационное согласование размеров, размерных цепей и допусков в КД; количество информации шероховатости дефектного и поверхностного слоя;

2. На этапе технологической подготовки производства: определяется количество информации точности механической обработки, информационное согласование параметров точности механической обработки; количество информации режимов резания, информационное согласование параметров режимов количество информации технологических операций, информационное согласование технологических операций; количество информации технологических процессов, информационное согласование параметров технологических процессов;

3. На этапе производства: определяется количество информации настройки оборудования и переработки информации формообразования; информации контрольных измерений; информационное согласование процесса формообразования методом управления параметрами в соответствии с конструкторской и технологической информацией документации.

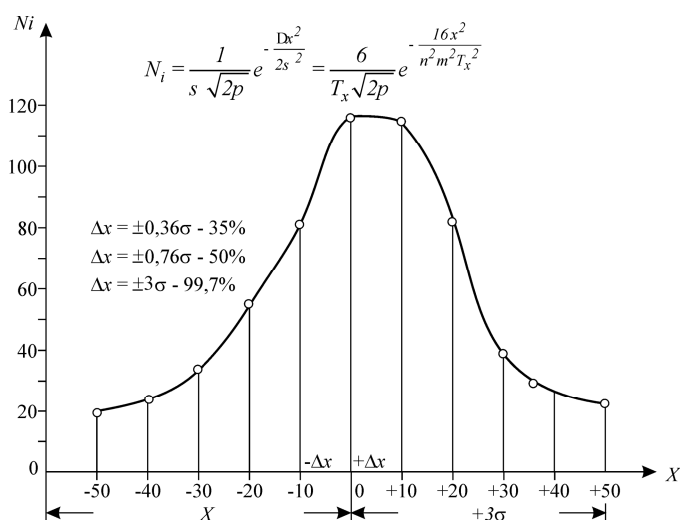


Рис.1. Кривая рассеивания размеров (закон нормального распределения)

Единая интегрированная информационная модель изделия (ИИМИ), сформированная на базе интегрированной информационной системе производства (ИИС), присутствует на всех этапах ЖЦП и состоит из интегрированной информационной модели изделия конструктора (ИМИК), информационной модели изделия технолога (ИМИТ), информационной модели изделия производства (ИМИП). Это обуславливается спецификой передачи информации ИИМИ на этапах ЖЦП.

Информационный анализ технологических процессов имеет целью определения информационных взаимосвязей между параметрами технологической системы производства деталей машин[4].

Информационный анализ изготовления детали рекомендуется проводить в следующей последовательности. На первом этапе определяется количество информации показателей, характеризующих точность каждой поверхности детали:  $I_{\text{размеров}}$  (длина, О, высота и т.п.);  $I_{\text{формы}}$  (макроотклонение, волнистость, микроотклонения);  $I_{\text{поверхности}}$  (твердость, покрытие и т.п.). На втором этапе определяется количество информации показателей, характеризующих относительное расположение всех поверхностей детали:  $I_{\text{параллельности}}$ ;  $I_{\text{симметричности}}$ ;  $I_{\text{соотности}}$  и

т.п. Таким образом, информационный анализ детали позволяет определить количество информации основных характеристик детали

$$I_{\text{дет.}} = \sum \left( I_{\text{исп.}}^{S_i}, I_{\text{осн.}}^{S_j}, I_{\text{всп.}}^{S_n}, I_{\text{расп.}(0)}^{0_{k,m}}, I_{\text{расп.}(в)}^{0_{t,s}}, I_{\text{св.}}^{S_d}, I_{\text{разм.}}^{\tau}, I_{\text{форм.}}^f, I_{\text{пов.}}^P, I_{\text{пар.}}^h, I_{\text{сим.}}^S, I_{\text{сост.}}^t \right).$$

Фактическая интенсивность переработки информации оборудованием определяется с учетом позацикловых затрат времени  $T_{н.у.}$

$$W_{\phi}(I_{\ell}) = \frac{W_T(I_{\ell})}{T_0 + T_d + T_{н.у.}} = W_T(I_{\ell}) \cdot \eta_{т.и.} \cdot \eta_3$$

Нормативная интенсивность переработки информации одним инструментом определяется с учетом норм времени  $H_{вр}$  на выполнение операции обработки детали

$$W_H(I_{\ell}) = W_T(I_{\ell}) \cdot t_{\text{пр}} / H_{вр}.$$

Цикловая и нормативная интенсивность переработки информации технологической системой при обработке комплектом режущего инструмента определяется по зависимости

$$W_y(I_{\ell}) = \sum_{i=1}^{N_k} W_T(I_{\ell}) \cdot t_{\text{пр}} / t_{op}.$$

Технологическая интенсивность переработки объемной информации для режима обработки детали точением в информационной форме имеет вид

$$W_T^{\tau}(I_V) = \frac{I(V)}{e^{\sum I(j)}},$$

где  $I(i) = \ln \pi + \ln D + m \ln T + x_v \ln t - \ln 1000 - \ln C_v - \ln K_v + (y-1) \ln S_0$ .

Для фрезерования технологическая интенсивность переработки объемной информации в информационной форме имеет вид:

$$W_T^{\phi}(I_V) = \frac{I(V)}{e^{\sum_{j=1}^N I(j)}},$$

где  $I(j) = \ln \pi + (1-q_v) \ln D + m \ln T + x_v \ln t + (y_v-1) \ln S_z + u_v \ln B + (p_v-1) \ln z - \ln 1000 - \ln C_v$ .

Для сверления технологическая интенсивность переработки объемной информации в информационной форме имеет вид

$$W_T^{\ell}(I_{\ell}) = \frac{I(\ell)}{e^{\sum_{\ell=1}^K I(\ell)}}, \text{ где } I(\ell) = -\ln n - \ln S_0.$$

Структура информационных критериев интенсивности переработки информации относительно многопозиционных обрабатывающих центров следующая

$$W_T(I_{\ell}) = \sum_{i=1}^{N_k} W_{Ti}(I_{\ell}) = \frac{1}{\sum_{j=1}^K I(j)}, \quad W_{mi}(I_{\ell}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_{Hj}} W_{Ti} \cdot T_0 / \tau_{Hj},$$

где  $W_T(I_{\ell})$  – информационный показатель технологической интенсивности переработки информации длины;  $W_{mi}(I_{\ell})$  – информационный показатель интенсивности многопозиционной обработки;  $\tau_{AC}$  – такт обрабатывающего центра.

В основе методик системно-информационного подхода в технологии машиностроения лежат положения практического использования, которые позволяют: - определить потенциальное количество информации, которым обладает

конструкторская документация с  $n$ -параметрами изготавливающих машин -  $I_{KD} = \sum \log_2 n_i, i = 1, m;$

- определить количество информации, которым обладает технологическое оборудование, приспособления и инструмент с  $q$ -параметрами -  $I_{TO} = \sum \log_2 q_i, i = 1, d ;$

- определить массу количества информации изготавливаемых машин и технологического оборудования при проведении технологической подготовки производства;  $\sum_{i=1}^n S_{IKD}(ti, r^n) = \sum_{j=1}^p S_{ITO}(t_j, r^n);$

- определить потенциальную силу количества информации производства машин в регламентированный технологический период –

$$FI(\tau, r^n) = \sum_{i=1}^n S_{IKD}(ti, r^n) + \sum_{j=1}^p S_{ITO}(t_j, r^n);$$

- определить избыточность или недостаток информации технологического оборудования при производстве машин –

$$(I_{TO} = \sum \log_2 q_i, i = 1, q) = (I_{KD} = \sum \log_2 n_i, i = 1, n);$$

- определить избыточность или недостаток массы информации при производстве машин в регламентируемый технологический период -

$$\left( \sum_{i=1}^n S_{IKD}(ti, r^n) \right) = \left( \sum_{j=1}^p S_{ITO}(t_j, r^n) \right);$$

- определить количество информации, которое может быть потеряно при производстве машин на данном технологическом оборудовании в регламентируемый технологический период -  $(I_{TO} = p \sum \log_2 q_i, i = 1, q) < (I_{KD} = \sum \log_2 n_i, i = 1, n);$

- решить задачу информационной оптимизации показателей информационной стабильности технологического процесса производства машин -

$$I_{\text{опт}}^{\text{стаб}}(q, n) = \tau ((I_{TO} = p_i \sum \log_2 q_i, i = 1, d), (I_{KD} = p_i \sum \log_2 n_i, i = 1, m));$$

- решить задачу информационной оптимизации показателей интенсивности переработки информации технологического процесса производства машин –

$$I_{\text{инт}}^{\text{стаб}}(\tau, r^n) = \tau \left( \sum_{i=1}^n S_{IKD}(ti, r^n) \right), \left( \sum_{j=1}^p S_{ITO}(t_j, r^n) \right);$$

- решить задачу информационной оптимизации показателей скорости переработки информации технологического процесса производства машин-

$$I^{\text{пер}}(q, n) = I(n, q) ((I_{TO} = p \sum \log_2 q_i, i = 1, d), (I_{KD} = p \sum \log_2 n_i, i = 1, m));$$

- определить качество информации процессов контроля производства машин, в регламентируемый технологический период –

$$I_{\text{(изд)}}^{\text{кач}} = \sum \log_2 \left( \frac{mI_{\text{ц}} - mI_{\text{п}}}{mI_{\text{ц}}} \right) = \sum \log_2 \left( 1 - \frac{\Delta mI}{mI_{\text{ц}}} \right);$$

- определить ценность информации процессов контроля производства машин, в регламентируемый технологический период -

$$I_{\text{(изд)}}^{\text{цен}} = \sum \log_2 \left( mI_{\text{ц}} - \frac{\Delta mI}{mI_{\text{ц}}} \right).$$

Количество энергии которое затрачивается на переработку единицы информации срезаемого слоя зависит от материала заготовки, метода обработки, материала инструмента.

Таблица 1. Удельные затраты энергии на переработку информации формообразования резанием

Метод обработки	R <sub>z</sub> мкм	T <sub>d</sub> мкм	K <sup>E</sup> <sub>Jφ</sub> Ват/нит	J <sub>φ</sub> (формообразования)
Точение: черновое получистовое чистовое тонкое	50 – 100 30 – 50 15 – 29 6 – 10	180 – 460 40 – 60 20 – 30 5 – 20	5 – 20	$J_{\phi} = \ln \frac{L}{R_z} + \ln \frac{t}{T_d} + \ln D$
Фрезерование: черновое чистовое тонкое	80 – 160 20 – 50 3 – 6	100 – 250 60 – 90 1 – 3	1 – 15	$J_{\phi} = \ln \frac{L}{R_z} + \ln \frac{t}{T_d} + u_v \ln B$
Сверление: черновое глубокое	80 – 160 15 – 30	210 – 250 21 – 25	1 – 10	$J_{\phi} = \ln \frac{L}{R_z} + \ln \frac{t}{T_d} + (1 - q_v) \ln D$
Зенкование: черновое чистовое	30 – 50 20 – 30	20 – 30 10 – 15	1 – 5	
Развертывание предварительное чистовое	10 – 20 6 – 10	10 – 15 3 – 5	1 – 5	

На базе информационно-смысловых моделей разработана интегрированная автоматизированная система экспресс-анализа DISLUTV, которая предназначена для информационного анализа и оптимизации технологических процессов на основе критериев максимальной интенсивности переработки информации  $W_j \rightarrow \max$ , и минимального количества переработанной информации  $\Sigma J \rightarrow \min$  процессов механической обработки.

Она позволяет:

1. Решать прямую задачу – формирование технологических паспортов технологического оборудования механической обработки.

2. Решать обратную задачу – по данным технологических паспортов технологического оборудования механической обработки оптимизирует технологический процесс резания.

3. Оптимизировать выбор технологического оборудования механической обработки по критерию максимальной интенсивности переработки информации при данном методе обработки  $J(W) \rightarrow \max$ .

4. Оптимизировать параметры процесса резания при данном методе обработки по критерию минимального количества переработанной информации  $\Sigma J \rightarrow \min$ .

5. Оптимизировать технологический процесс механической обработки по критерию  $\Sigma mJ \rightarrow \min$ , масса переработанной информации стремится к минимуму.

6. Оперативно решать задачи выбора оборудования при изменении геометрии детали.

7. Оперативно решать задачу выбора оборудования при изменении партии выпускаемого изделия.

8. Решать задачу расчетов режима резания для конкретного оборудования с оптимизацией по критерию минимального количества переработанной информации.

9. Решать задачу экономической эффективности технологического процесса с позиции уменьшения стоимости переработки 1 бит информации.

**Выводы.** Информационно-смысловые модели расширяют математическую базу моделирования производственных систем и технологий. Информационная интеграция технологий на этапах ЖЦП достигается путем использования общих моделей, позволяющих более эффективно решать вопросы разработки и проектирования изделий, подготовки производства, планирования и управления производством, решения задач материально-технического обеспечения, охватывая все процессы предприятия.

**Список литературы.** 1. Тернюк Н.Э., Луцкий С.В. Мера информации при исследовании технических систем. // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов 1\*2007, С.8-13. 2. Луцкий С.В. Теоретико-информационный подход к развитию технических систем // Вестник двигателестроения. Научно-технический журнал №2, 2007, с. 28-33. 3. Луцкий С.В. Структуризация информационных процессов в технологических системах. // Механика и машиностроение. Научно-технический журнал 2\*2007, НТУ «ХПИ» с.117-125. 4. Луцкий С.В. Информационные модели для расчета погрешности механической обработки. // Машиностроение и техносфера 21-века. Сб. трудов научно-технической конференции. Донецк, ДонНТУ, 2008, т.2, с.108-112.

Надійшла до редколегії 13.03.2009 р.

## ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНООБРАБОТКИ

Тернюк Н.Э., Луцкий С.В.

Статья посвящена розробці інтегрованих технологій механообробки на основі системно-інформаційного підходу.

*информационно-смысловые модели, механообработка, оптимизация технологического процесса*